

## Efeito da temperatura no comportamento reológico da poupa de manga

**J. R. M. B. Vidal**

Departamento de Química e Física - UNICENTRO  
85019-990 Guarapuava, PR

**C. A. Gasparetto<sup>1,2</sup> e A. Grandin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Alimentos - UNICAMP

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA - UNICAMP  
13081-970 Campinas, SP

(Recebido em 1 de junho de 2000)

**Resumo:** Foi determinado o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga, variedade Keitt, na faixa de temperatura de 10°C a 60°C. A polpa integral foi produzida em planta piloto e refinada em finisher com peneira de 1,6mm. As análises reológicas foram conduzidas em um reômetro Haake Rotovisco RV-20 com geometria de cilindros concêntricos. O efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos que representam o índice de consistência ( $K_M$ ) foi ajustado usando-se a equação de Arrhenius:  $\ln(K_M) = A_1 + B_1/T$ . No caso do modelo de Mizrahi-Berk o índice de comportamento ( $n_M$ ) foi ajustado por uma função do tipo:  $n_M = A_2 + B_2 T$ .

**Palavras-chave:** reologia, temperatura, manga, poupa

**Abstract:** The rheological behaviour of mango pulp (Keitt) was measured in the temperature range 10°C - 60°C. Whole pulp was produced in pilot plant and finished with 1.6mm mash sieve. Rheometry was conducted in a Haake Rotovisco RV-20 rheometer with concentric cylinders. Temperature effect on rheological parameters that represent the rate of consistence ( $K_M$ ) was fitted using the Arrhenius equation  $\ln(K_M) = A_1 + B_1/T$ . In the case of model of Mizrahi-Berk (M-B), the flow behaviour index ( $n_M$ ) was fitted using a function of the type:  $n_M = A_2 + B_2 T$ .

**Key word:** rheology, temperature, mango, pulp

## 1 Introdução

Este é um trabalho experimental sobre o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. A variedade Keitt foi estudada devido a sua importância como fruto para consumo *in natura*. Os produtos processados são apresentados comercialmente na forma de suco, néctar, sorvete, sobremesa, gelificados e outros. Para fabricação destes produtos utiliza-se a polpa concentrada e para definição dos processos é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque. A inexistência de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar, no processo de fabricação destes sucos, condições semelhantes às aplicadas na produção do suco de laranja. Mas por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade. Para obter sucos concentrados, com qualidade capaz de conquistar o paladar dos consumidores a indústria brasileira deverá respeitar as características exclusivas de cada fruta. A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também à grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam atualmente. Os resultados experimentais obtidos foram estudados no sentido de buscar uma unificação para explicar o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga.

## 2 Materiais e métodos

Neste trabalho foi utilizada polpa de manga integral de 16 °Brix e pH 4,5 nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50, 60 °C. A manga foi processada em despulpador com tela de 1,6mm de abertura. O material foi colocado em bandeja e submetido a congelamento rápido (30 min) em congelador de placas. Após atingir -30 °C foi retirado e embalado a vácuo em sacos de polietileno e armazenado em freezer horizontal a -20 °C, sendo este material utilizado nos ensaios posteriores. As frutas foram escolhidas entre as de melhor aspecto, dando-se preferência aos exemplares mais firmes, sem danos aparentes na casca e em estágio de maturação semelhante em todo o lote. Para este fim utilizou-se um texturômetro marca Texture Analyser modelo TA-XT2 com aquisição automática de dados.

O comportamento reológico das amostras foi medido em reômetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco modelo RV-20, com sistema de medida ZA30 (Fig. 1).

A escolha desse sistema de medida deveu-se à possibilidade de se obter um controle eficiente da temperatura de ensaio, um vez que a quantidade da amostra era pequena, aproximadamente 10 mL, com taxa de deformação na faixa de 15 a 300 s<sup>-1</sup>, (pH 4,5 e 16 °Brix). Os experimentos foram realizados em triplicatas e em cada repetição utilizou-se uma nova amostra, para evitar possíveis efeitos de tempo. O tempo de cada ensaio foi de 4 min, completando um total de 20 pontos, sendo 2 min para velocidade de rotação crescente e 2 min para decrescente. Antes de iniciar-se o ensaio, conforme recomendação do fabricante, a amostra era deixada em repouso por aproximadamente 1 min para uniformização de temperatura.

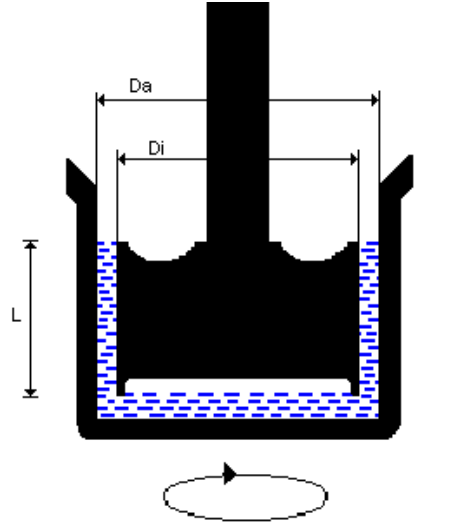


Figura 1. Sistema de medida ZA30-Reômetro Haake Rotovisco.

As curvas de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação foram ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk, que é dado pela equação:

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \gamma^{n_M}$$

onde  $K_{OM}$  é a raiz quadrada da tensão inicial (Pa)<sup>0.5</sup>;  $K_M$  é o índice de consistência (Pa.s);  $n_M$  é o índice de comportamento do fluido,  $\tau$  é a tensão de cisalhamento (Pa); e  $\gamma$  é a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>).

A decisão do modelo mais adequado foi tomada com base nos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), chi-quadrado ( $\chi^2$ ) e soma dos quadrados dos resíduos (SSR). O melhor ajuste foi analisado com base nos parâmetros  $R^2$  (mede a proporção da variação total da medida explicada pela regressão), definido como a razão entre a soma quadrática total e  $\chi^2$  que expressa a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais. Quanto maior for o valor de  $\chi^2$  maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Quanto menor o valor de  $R^2$  maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de  $R^2$  (máximo 1) e baixos valores de  $\chi^2$  (mínimo 0).

### 3 Resultados e discussão

O comportamento reológico da polpa de manga integral pode ser visto na Figura 2, onde estão plotados os pontos experimentais com suas respectivas curvas de ajustes com eixo  $\tau^{0,5}$  *versus* taxa de deformação  $\gamma$ .

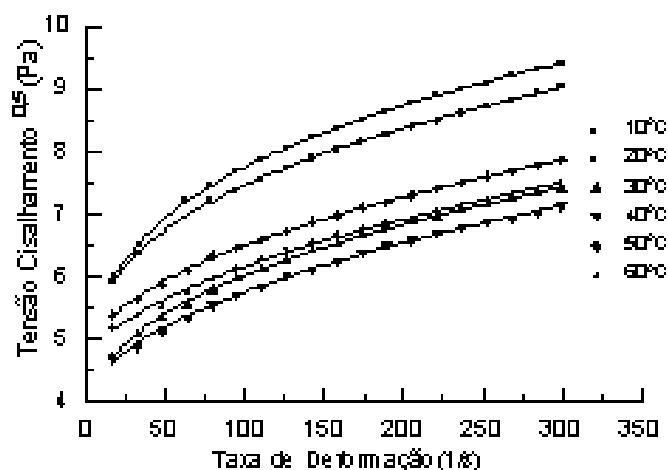


Figura 2. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação pelo modelo de Mizrahi-Berk.

	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
$K_{OM}$	3,41	4,12	3,47	3,81	4,57	4,51
$K_M$	1,12	0,68	0,41	0,20	0,20	0,14
$n_M$	0,29	0,35	0,40	0,48	0,48	0,54
erro $K_{OM}$	0,06	0,02	0,09	0,11	0,07	0,13
erro $K_M$	0,04	0,11	0,04	0,04	0,02	0,04
erro $n_M$	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04
$\chi^2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$SSR$	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03
$R^2$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela 1. Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros obtidos através do ajuste aos reogramas do modelo de Mizrahi-Berk, onde proporcionou melhores parâmetros de ajuste, apresentando os menores valores de  $\chi^2$ , além dos valores mais elevados para o coeficiente de determinação  $R^2$ . O efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos que representam o índice de consistência  $K_M$  do modelo de Mizrahi-Berk foram ajustados através do programa estatístico (ORIGIN), usando o comportamento descrito pelo modelo de Arrhenius  $\ln K_M = A + B/T$ . Como a polpa de manga integral foi descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, buscou-se uma dependência do tipo linear para o índice de comportamento  $n_M$  em função da temperatura, como representada na Figura 3. Nessa figura o ponto relativo à temperatura de 40 °C (313 K) não foi utilizado na obtenção da reta de ajuste.

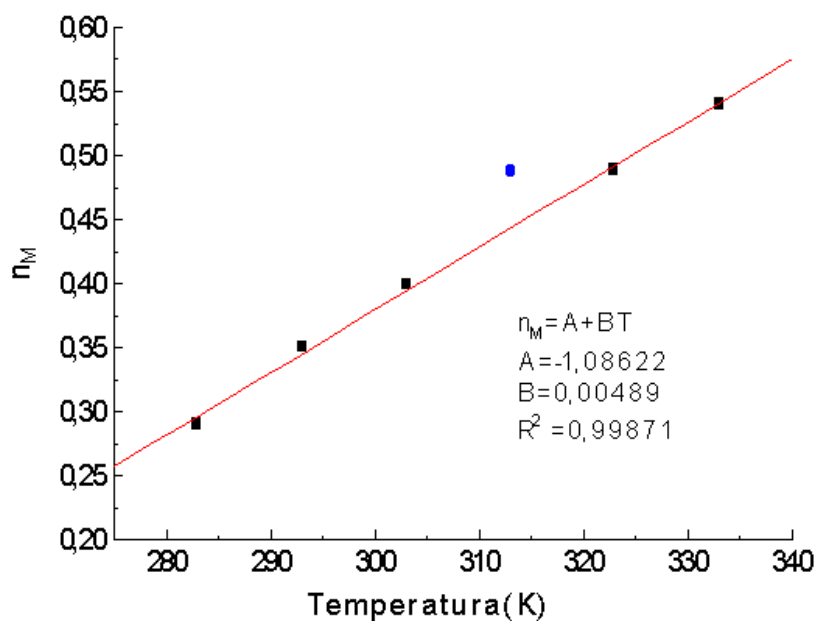


Figura 3. Efeito da temperatura sobre o parâmetro  $n_M$  Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

Temperatura (°C)	$n_M$ (ajuste ao reograma)	$n_M$ (por $n_M = A + BT$ )
10	0,29	0,30
20	0,35	0,35
30	0,40	0,40
40	0,49	0,44
50	0,49	0,49
60	0,54	0,54

Tabela 2. Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

Na Tabela 2 são mostrados os parâmetros de índice de comportamento  $n_M$  ajustados ao reograma e aqueles obtidos pelo ajuste de uma dependência linear com temperatura conforme ilustrado na Figura 3. Para a descrição do parâmetro  $K_M$  (índice de consistência), buscou-se uma dependência do tipo de Arrhenius  $\ln K_M = A + B/T$ , para  $K_M$  em função da temperatura, como representada na Figura 4. O ponto relativo à temperatura de 40 °C (313 K) não foi considerado para ajuste. Na Tabela 3 são mostrados os parâmetros  $K_M$  (índice de consistência) ajustados ao reograma e aqueles obtidos pelo ajuste de uma dependência tipo Arrhenius com a temperatura, conforme ilustrado na Figura 4.

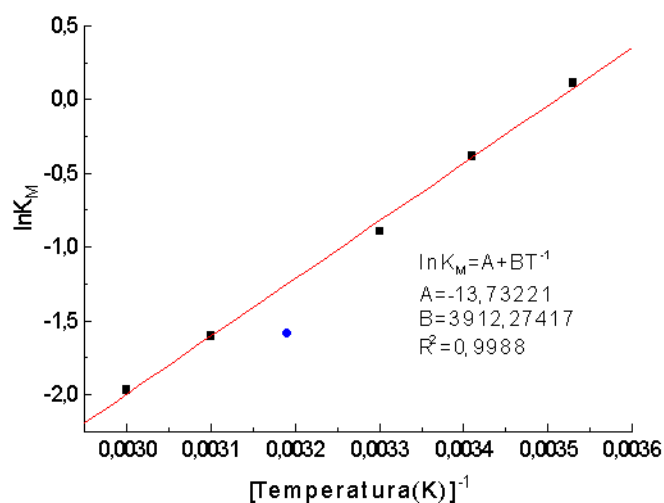


Figura 4. Efeito da temperatura sobre o parâmetro  $K_M$  Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

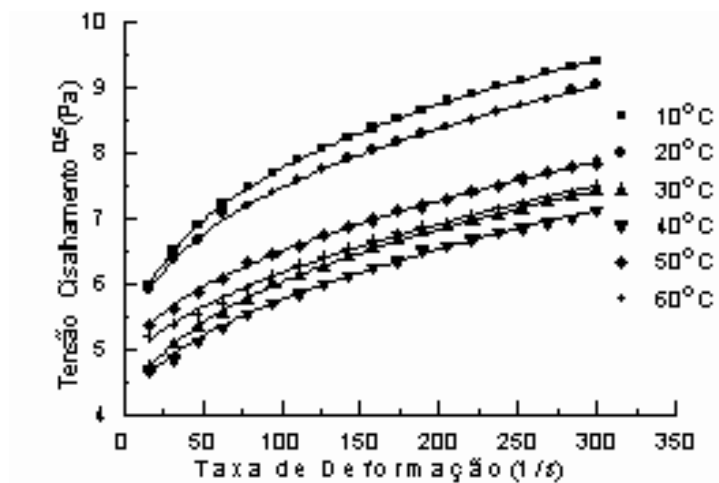


Figura 5. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Temperatura (°C)	$K_M$ (Pa·s) (ajuste ao reograma)	$K_M$ (Pa·s) ( $\ln K_M = A + B/T$ )
10	1,12	1,08
20	0,68	0,68
30	0,41	0,49
40	0,21	0,29
50	0,20	0,20
60	0,14	0,14

Tabela 3. Parâmetro de Mizrahi-Berk para polpa integral.

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	$K_{OM}$ (Pa.s) (ajuste ao reograma)	$K_{OM}$ (Pa.s) (recalculado)
10	3,41	3,49
20	4,12	4,13
30	3,47	2,90
40	3,81	3,54
50	4,57	4,53
60	4,51	4,51

Tabela 4. Parâmetro de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

Na Figura 5 os pontos marcados representam os valores fornecidos diretamente no levantamento de dados do reograma. As linhas contínuas representam o modelo de Mizrahi-Berk com os novos parâmetros  $K_M$  e  $n_M$  ajustados pela dependência com a temperatura; valores esses dados nas Tabelas 2 e 3. Neste caso o parâmetro  $K_{OM}$  da Tabela 4 foi obtido a partir de uma regressão linear usando-se os pontos experimentais e os novos valores de  $K_M$  e  $n_M$  fornecidos pela dependência com a temperatura.

Portanto este é o novo ajuste para o modelo que descreve o comportamento reológico da polpa de manga integral, levando agora em consideração a dependência dos parâmetros reológicos com a temperatura. A sua vantagem é que esses parâmetros, índice de consistência  $K_M$  e índice de comportamento  $n_M$ , estão descritos de maneira mais coerente, pois todos podem ser representados diretamente em função da temperatura. Essa representação é muito mais conveniente, principalmente para uso de algoritmos de cálculos de processos e equipamentos.

## 4 Conclusões

Para o modelo de Mizrahi-Berk, a partir dos dados obtidos no reômetro Haake Rotovisco, o parâmetro  $K_{OM}$  elevado ao quadrado é a tensão inicial para o produto escoar. Com a variação da temperatura o parâmetro  $K_{OM}$  variou na faixa de 3,41 a 4,57. Conclui-se que o valor do índice de comportamento é menor que 1, mostrando que a polpa de manga integral apresenta comportamento pseudoplástico. Com o aumento da temperatura, observou-se um aumento no índice de comportamento e uma diminuição no índice de consistência. Conclui-se que a viscosidade diminui com a temperatura de até  $40^{\circ}\text{C}$ . Para temperaturas de  $50^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$  observa-se um aumento da viscosidade o que pode ser explicado por uma possível gelatinização do amido presente na polpa de manga. Comparando-se as curvas das Figuras 2 e 5 nota-se que este procedimento de recalculer os parâmetros reológicos é perfeitamente admissível.

## Bibliografia

- AMSTALDEN, L. C.; GASPARETTO, C. A. *Estudo da deposição de hesperidina em evaporadores da indústria de citrus*. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP), 1996.
- BOTREL, N. Inf. Agropec., v. 17, n. 179, p. 55-60, 1994.
- CASSON, N., *A flow equation for pigment-oil suspensions of the printingink type*. In: in Rheology of disperse suspensions, C. C. Mill (ed). New York: Pergamon Press, 1959.
- EZELL, G. H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. *Food Techn.*, v. 13, p. 9-13, 1959.
- GUNJAL, B. B., WAGHMARE, N. J. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of Baneshan and Neelum mangoes. *Journal of Food Science Tech.* v. 24, p. 20-23, 1987.
- LARA, A. B. W.; NAZARIO, G.; ALMEIDA, M. E. W.; PREGNOLATO, W. *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz - Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v. 1, 2<sup>a</sup>. ed., 1976.
- MIZRAHI, S. and BERK, Z., Flow behaviour of concentrated orange juice: *Mathematical Journal of Texture* v. 3, n. 1, p. 69-79, 1972.
- QUEIROZ, A. J. M., VIDAL, J. R. M. B., VIDAL, B. C., GASPARETTO, C. A. *Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi*. XXIV Encontro sobre escoamento em meios porosos, (ENEMP), Uberlândia, MG, 1996.
- VIDAL, J. R. M. B. *Comportamento reológico da polpa de manga (Mangífera indica L-Keitt)*. Campinas: (FEA) UNICAMP, 2000. Tese de Doutorado.
- VIDAL, J. R. M. B. *Rheology of Mango juice-Effect of the Insoluble Solids*. In: 10th Word Congress Of Food Science and Tecnology, p. 107. Sydney, Australia, 1999.